

震源可視化アプリケーションHypoViewerの開発

著者	澤口 隆
著者別名	SAWAGUCHI T
雑誌名	東洋大学紀要. 自然科学篇
号	58
ページ	13-32
発行年	2014-03
URL	http://id.nii.ac.jp/1060/00006643/

震源可視化アプリケーション HypoViewer の開発

澤口 隆*

Visualization of Earthquake Hypocenter: HypoViewer

Takashi SAWAGUCHI *

Abstract

A new interactive web application named "HypoViewer" is developed and released, that visualizes world-wide earthquake hypocenter within the 3D virtual earth modeling in the web-browser. This application displays 524,376 hypocenters in total which were derived from ANSS Comprehensive Catalog (USGS) during 1999 to 2012. Users can easily change a camera position in the virtual space not only above the earth's surface but also below more than 1,000km in depth. Along the convergent plate boundaries, subducting oceanic lithospheres can be recognized by an inclined array of hypocenters classified by color. Characteristic features of earthquakes are explained from a plate-tectonics theoretical point of view at regions where many earthquakes have occurred in the world. HypoViewer can contribute a comprehensive understanding of nature of earthquake and plate tectonics theory.

Keywords: earthquake, hypocenter, three.js, WebGL, HTML5, plate tectonics, 3D modeling

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日、東北地方宮城県沖の太平洋プレートと北米プレートの境界を震源とするマグニチュード (Mw) 9.0 の東北地方太平洋沖地震が発生した。破壊は、東経 142.372 度、北緯 38.297 度、深さ 30km の位置から始まり、震源断層の大きさは海溝に沿った長さ約 500km、幅 200km に渡った (Fig. 1)。

余震活動も活発で、2013 年 10 月 26 日には、福島県沖を震源とする M7.1 のアウターラ

*) 東洋大学自然科学研究室 112-8606 東京都文京区白山 5-28-20
Natural Science Laboratory, Toyo University, 5-28-20, Hakusan, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8606, Japan

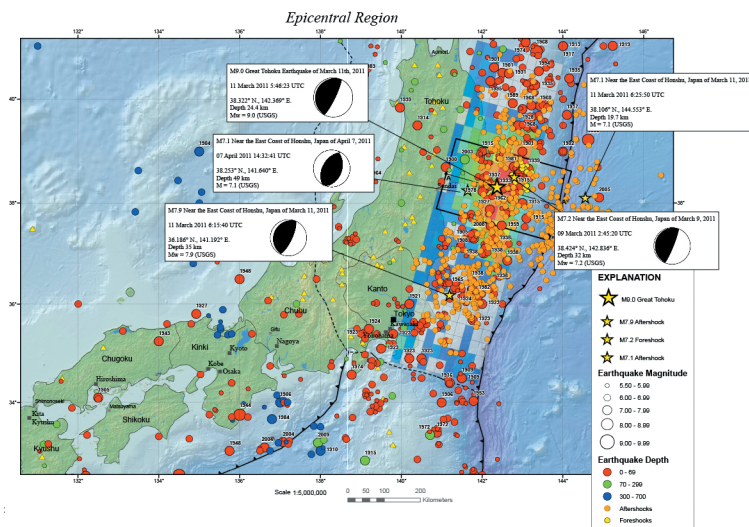


Fig. 1 東北地方太平洋沖地震とその余震の震源位置 (USGS Poster of the Great Tohoku Earthquake online: 20130311.php)

イズ地震も起きている。震源の深さは約 10km と推定され、気象庁の観測によると最大で 40cm の津波が観測された (気象庁津波情報 (2013 年 10 月 26 日) online: observation_03_20131026041115.html)。アウターライズ地震は、海洋プレートが沈み込む海溝よりも海側のアウターライズ (海溝上縁隆起帯) で発生し、地殻浅部で正断層型の破断が海底まで達することにより、大きな津波被害がおこる可能性がある (Fig. 2; Lay et al., 2011)。2004 年 12 月のスマトラ島沖地震 (M9.1) の約 3 ヶ月後に発生したアウターライズ地震 (M8.7) では、揺れと津波で 1700 人以上の死者が出た。

日本における地震観測データは、国立大学や防災科学技術研究所、気象庁などが全国に観測網を展開して取得しており、これらのデータは、気象庁一元化処理震源データとし

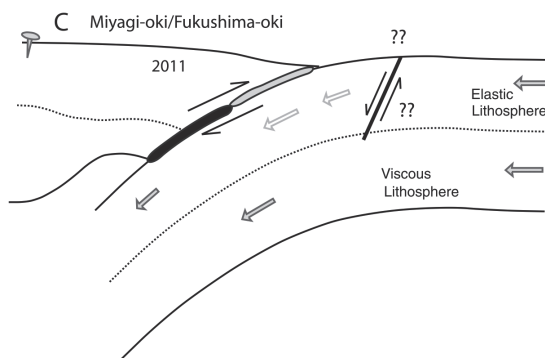


Fig. 2 アウターライズ地震の模式図 (Lay et al., 2011)

Table. 1 気象庁一元化処理震源リスト 地震発生回数

年	地震回数(年間)	1日平均回数
2003	144,996	397.2
2004	136,520	374.0
2005	133,785	366.5
2006	115,924	317.6
2007	128,130	351.0
2008	130,105	356.5
2009	142,137	389.4
2010	135,041	370.0
2011	238,171	652.5
2012	182,476	499.9

て、一定の品質管理を行ったうえで公表されている（気象庁一元化処理震源データ online: index.php ※閲覧・ダウンロードには登録が必要）。2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震の極めて活発な余震活動によって、一時期解析作業が追いつかずに震度データベースに更新されていない期間が存在したが、平成 25 年 2 月末にこれらの期間の解析結果が追加された。2003 年から 2012 年までの地震発生回数は Table. 1 の通りである。この期間毎年、年間 120,000 回以上、1 日平均 300 回以上の地震が観測され、2011 年は 1 日平均で 653 回の地震が観測された。

日本列島のようなプレートの沈み込み境界では、活発な地震活動があり、歴史的にも多くの災害被害がおきている。4つのプレートがひしめきあう、世界的にも珍しいテクトニクス場で起きている複雑な地震活動とプレート運動の関わりを、より視覚的に理解をし、日頃からの地震に対する理解を深めておくことは重要であろう。また世界的にみても、地震活動はプレートの境界付近で頻度・規模ともに大きく、プレートテクトニクスを理解するうえでも、世界中で発生している地震の震源分布とその特徴を視覚的に理解することは重要である。

本研究では、これらの地震震源情報やプレートの形状などを、コンピュータを用いて視覚化することで、誰でも直感的に理解ができる、震源可視化アプリケーション HypoViewer を開発した。

2. 震源の可視化：これまでの研究例

アメリカ地質調査所（United States Geological Survey: USGS）の Earthquake Hazards Program では、全米 7000 カ所に設置した地震計を用いた ANSS（Advanced National Seismic System）を構築しており、リアルタイムで地震情報を公開している（USGS Earthquake Hazards Program online: index.php）。また、世界中の関連機関から提供された地震情報をまとめた ANSS Comprehensive Catalog（ComCat）を公開しており、イン

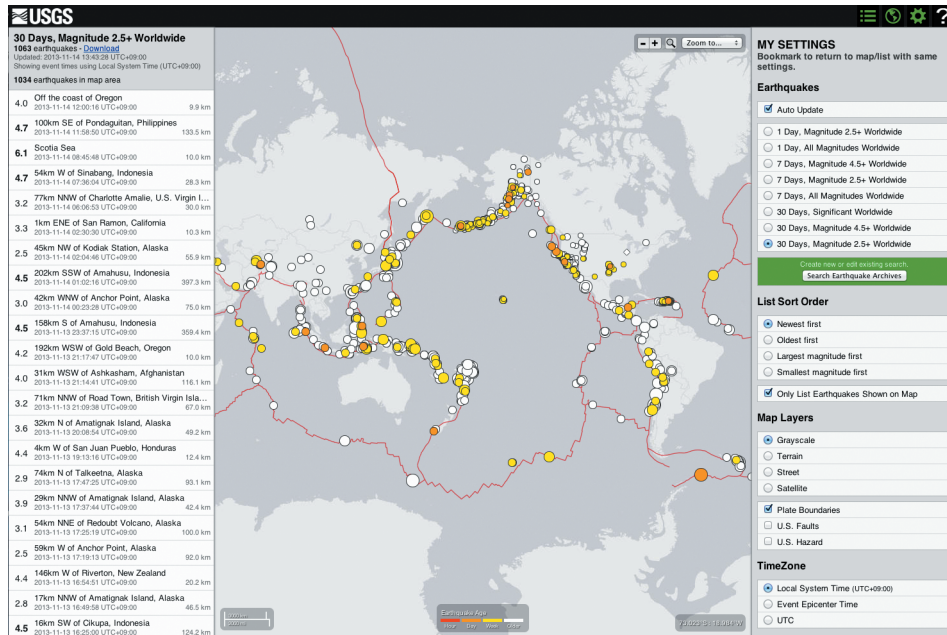


Fig. 3 USGS Latest Earthquakes

ターネットを用いて誰でも世界中で起きている地震情報を参照することができる。最新地震情報マップでは、過去1日、7日、30日間に発生した世界中の震源情報を、マグニチュードを閾値として、地図上に表示させることができる (Fig. 3; USGS Latest Earthquakes online: index.html)。HTML5で制作されているので、パソコンのブラウザだけでなく、タブレット端末でも表示・操作が可能である。リアルタイムで世界中の地震情報が更新されることが特徴として挙げられるが、震源の深さやマグニチュードなどの情報は、画面上の震源位置のアイコンをクリックして情報を選択しなければ分らず、震源の3次元的位置情報を一目で理解することはできない。そこで、震源の深さとマグニチュードの情報を、アイコンの色と大きさを使って区別して表現する手段が別途提供されている。マップ表示には、Google Earthを用いて、KMLファイルとして震源情報をレイヤー表示させる (Fig. 4)。表示させたい震源情報は、ANSS ComCatを用いてブラウザから検索・抽出することができ、ここから、KMLフォーマットの震源情報を生成・ダウンロードすることができる (USGS Earthquake Archive Search & URL Builder online: search/)。1つの震源が1つの塗りつぶし円で表示され、円の大きさとマグニチュードが区別されている。震源の深さ（または発生時刻）は、円の塗りつぶし色で区別することができ、深さの場合は、6段階（0-35km、35-70km、70-150km、150-300km、300-500km、500-800km）で色分けされている。

IRIS (Incorporated Research Institutes for Seismology) は、米国科学財団 (NSF) の援助を受けて1984年に設立された、米国100大学以上が参加するコンソーシアムである。IRIS Seismic Monitorでは (Fig. 5; IRIS Seismic Monitor online: index.phtml)、マグニ

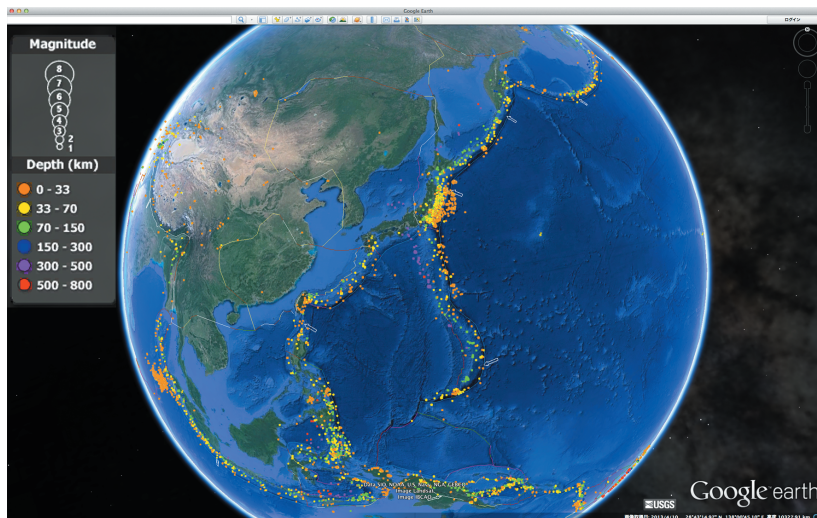


Fig. 4 Google Earth を用いた震源情報表示 (USGS)

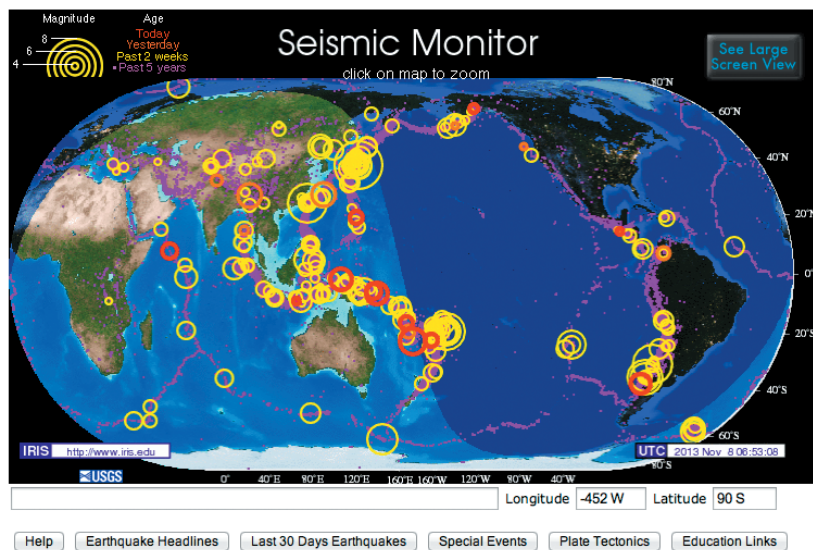


Fig. 5 IRIS Seismic Monitor

チュード 4 以上の震源位置が世界地図上に色付きの円でプロットされ、円の大きさがマグニチュード、色の違いが発生時刻（赤：24 時間以内、オレンジ：24-48 時間、黄色：3 日～2 週間、紫：2 週間～5 年）で表されている。5 年以上前の震源については、紫色の点（ドット）で表されており、主要なテクトニックプレート境界が分かるようになっている。

地図上の任意の地点をクリックすると拡大図が表示され、震源情報を詳細に表示できるほか、地震観測点の位置も表示されており、これをクリックすることで FDSN Station

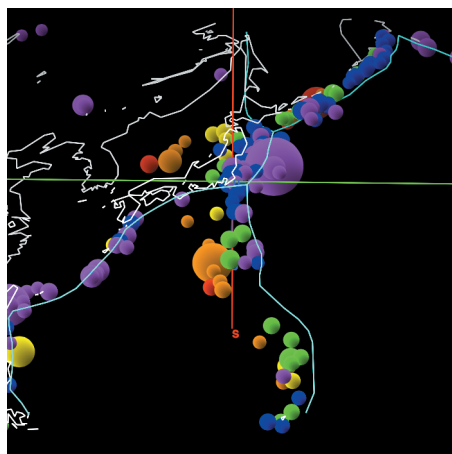


Fig. 6 IRIS 仮想 3 次元ビューワー

Book から観測点の詳細情報を得ることができる。また、表示領域を指定してから IRIS 3DV Earthquake Viewer を起動することで、仮想 3 次元空間表示を行うこともできる (Fig. 6)。ここでは深度は色で分類されており、3 次元的な震源情報をあらゆる角度から観察して理解することが可能であるが、震源情報を最大 5,000 個までしかプロットできず、震源の数が多くなるとブラウザで表示不能となったり、動作が極端に遅くなったりするなどの制約がある。

独立行政法人・防災科学技術研究所（以下、防災科研）は、「災害に強い社会の実現」を基本目標として、1963 年に設立された（当時名称は国立防災科学技術センター）。防災科研が全国に展開する高感度地震観測網（Hi-net）のデータは、AQUA と呼ばれる地震情報（震源、マグニチュード、メカニズム解）を即時的に推定するシステムに用いられ、“AQUA システム震源速報”として公開がされている（松村ほか, 2006; Hi-net 高感度地震観測網 online: index.php）。また、Hi-net 自動処理によって得られた直近 24 時間以内および最新 30 日間の震央分布図も公開されている (Fig. 7)

さらに防災科研では、2001 年 1 月～2011 年 12 月までの期間中での、連続 5 年間の震源データをまとめて、3 次元表示する VRML 形式のデータを公開している (Fig. 8; VRML による三次元震源分布表示 online: index.php)。VRML は仮想現実モデリング言語 (Virtual Reality Modeling Language) と呼ばれるファイルフォーマットで、1994 年の制定以降ウェブブラウザで 3 次元モデルを表示させる用途に用いられてきたが、プラグインをインストールするか、専用の表示用アプリケーションをインストールすることが必要である。

本研究では、地震とテクトニックプレートに関連を学習者が直感的に理解できるように、震源位置の 3 次元的情報をコンピュータを用いて可視化し、ユーザがインタラクティブに視点や倍率を操作することができる震源可視化アプリケーションの開発を行った。上述の先行例と異なる特徴としては、1) 特別なソフトやプラグインをインストールする必要がなく、2) 震源情報を 3 次元グラフィックスで可視化し、3) 多くの震源情報を一度に表示しても自在に操作が可能で、4) ユーザが視点や倍率を自由に操作できる、ことなどである。

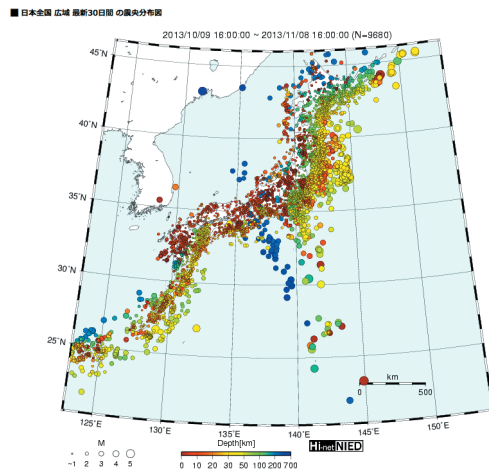


Fig. 7 防災科学技術研究所 Hi-net 自動処理（最新 30 日間）震央分布図

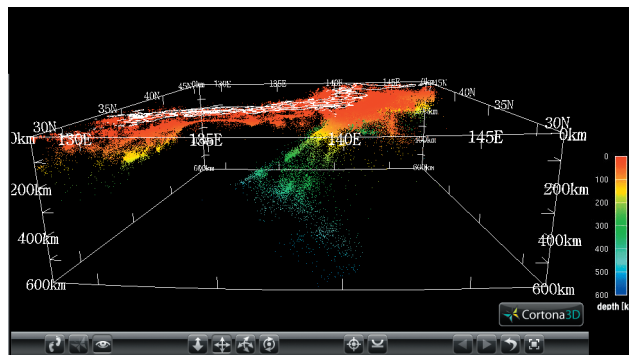


Fig. 8 VRML による三次元震源分布表示

3. 震源可視化アプリケーションの開発

3.1 利用データ

震源可視化アプリケーションに利用する震源データは、USGS が収集・公開している震源情報を利用した。公開している震源情報は、Table. 2 の通りである。

本アプリケーションでは、緯度・経度・深度、マグニチュードのデータを抽出し、JSON 形式のテキストデータ (Fig. 9) として保存したうえで、読み込みを行った。

Table. 2 USGS 震源情報 (CSV 形式) 一部抜粋

time	latitude	longitude	depth	mag	magType	nst	gap	dmin	rms	net	id	updated	place	type
1990-12-31T23:55:22.820Z	40.777	21.609	10						1	pde	pde19901231235522820_10	2013-03-16T00:28:39.935Z	Greece	earthquake
1990-12-31T23:14:02.700Z	41.767	15.974	10						0.8	pde	pde19901231231402700_10	2013-03-16T00:28:39.933Z	southern Italy	earthquake
1990-12-31T23:06:45.590Z	41.023	22.364	10						0.6	pde	pde19901231230645590_10	2013-03-16T00:28:39.931Z	Macedonia region	earthquake
1990-12-31T22:11:30.330Z	-21.953	174.818	10.2	5.6	mw				1.2	pde	pde19901231221130330_10	2013-03-16T00:28:39.912Z	Vanuatu region	earthquake
1990-12-31T22:11:27.170Z	49.519	-0.229	10	2.7	ml				0.6	pde	pde19901231221127170_10	2013-03-16T00:28:39.908Z	France	earthquake
1990-12-31T21:56:36.080Z	59.375	-152.669	74							pde	pde19901231215636080_74	2013-03-16T00:28:39.906Z	Southern Alaska	earthquake
1990-12-31T21:47:21.840Z	0.45	126.422	33	5	mb				0.3	pde	pde19901231214721840_33	2013-03-16T00:28:39.905Z	Molucca Sea	earthquake
1990-12-31T21:32:29.320Z	41.436	22.329	10						0.5	pde	pde19901231213229320_10	2013-03-16T00:28:39.904Z	Macedonia	earthquake
1990-12-31T21:26:54.230Z	42.285	13.739	10						0.3	pde	pde19901231212654230_10	2013-03-16T00:28:39.903Z	central Italy	earthquake

```

var hypocenter = [
  {"B":12.008,"L":143.487,"D":35,"M":5.1},
  {"B":63.337,"L":-147.516,"D":65.8,"M":3},
  {"B":12.014,"L":143.536,"D":35,"M":4.4},
  {"B":-11.366,"L":166.218,"D":67.5,"M":5.3},
  {"B":-6.747,"L":130.008,"D":145,"M":4.2},
  {"B":23.472,"L":91.834,"D":27.8,"M":4.6},
  {"B":6.677,"L":-73.11,"D":158.1,"M":4},
  {"B":41.755,"L":144.535,"D":16.5,"M":4.3},
  {"B":-3.207,"L":137.723,"D":51.4,"M":4.1},
  // 以下省略
];

```

Fig. 9 JSON 形式の震源情報 (B: 緯度、L: 経度、D 深さ、M: マグニチュード)

Table. 3 USGS 震源情報

年	地震回数(年間)	1日平均回数
2003	144,996	397.2
2004	136,520	374.0
2005	133,785	366.5
2006	115,924	317.6
2007	128,130	351.0
2008	130,105	356.5
2009	142,137	389.4
2010	135,041	370.0
2011	238,171	652.5
2012	182,476	499.9

震源情報は、1990 年か 2012 年までの合計 524,376 個を読み込んで表示させる (Table. 3)。この期間の年間平均地震回数は 22,800 回、1 日平均 62 回の地震となる。

3.2 開発言語

コンピュータを用いてモニタ上に仮想的な 3D グラフィックスを表示させるには、いくつかの方法がある (澤口, 2013)。今回の開発では、プラットフォームやブラウザに依存せず、大量の震源データを処理することが可能で、かつ将来的なタブレット端末への移植も考慮して、HTML5 + CANVAS + JavaScript + WebGL を用いて開発を行った。また、クロスブラウザ対応が可能な WebGL のラッパーとして three.js ライブラリ (three.js online: index.html) を用いた。

Table. 4 OS とブラウザ別の WebGL 対応一覧

OS	ブラウザ	最新バージョン	WebGLの実装
Windows	Internet Explorer	11	○
	Google Chrome	31.0	○
	Firefox	25.0.1	○(※1)
	Opera	18.0	○
	Safari	5.1.7	○
MacOSX	Safari	6.0.4	○(※1)
	Google Chrome	31.0.1650.57	○
	Firefox	25.0.1	○
	Opera	12.11	○

※1 デフォルトでオフの場合がある

3.3 動作ブラウザ

2013 年現在、WebGL をサポートしているブラウザは Table. 4 の通りである。

3.4 視点移動と座標変換

ブラウザで URL を指定し、震源データの読み込みが終了すると、半径 6,371km 相当の仮想地球モデルが画面上に表示される (Fig. 10)。地球表面のテクスチャは、大陸のみを表示し、海洋部分は透明化されている。大陸の裏側部分にはグレー単色のテクスチャを貼ってある。震源は色付きのドット (四角形) で配置されており、震源の深さで色分けされている。

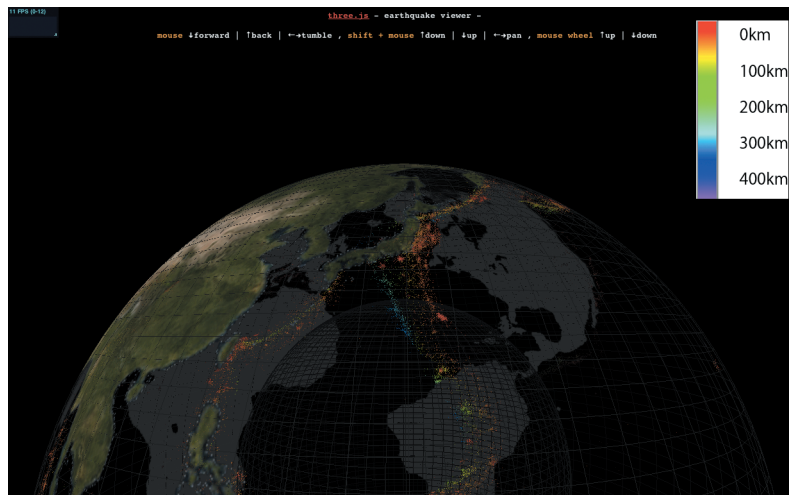


Fig. 10 スタート画面

カメラ位置と視線方向は、マウスやトラックパッドなどによるドラッグ操作で変更することができる (Table. 5)。一般的な 3D グラフィックスの透視投影法表示において、仮想空間中のモデルはいくつかの座標変換パイプラインを経てウィンドウに表示がされる。本アプリケーションでは、ワールド座標系の原点を中心とした仮想地球と、震源の緯度経度・深さ情報に基づいた震源位置を表示させ、視点を移動・変化させることとした。

震源データは、緯度 (B)、経度 (L)、深さ (D) で表されているため、平均地球半径 $R = 6,371\text{km}$ として、次式で直交座標系変換を行った。

$$\begin{aligned} X &= (R - D) \cos B \cos L \\ Y &= (R - D) \sin B \\ Z &= (R - D) \cos B \sin L \end{aligned} \quad \dots (3-1)$$

視野を決定するには、1) 視点座標、2) 注視点座標、3) 上方向ベクトル、の 3 要素が必要となる。直交座標系における視点の移動であれば、上下・左右・前後の移動がそれぞれ、X 軸・Y 軸・Z 軸方向の移動と一致するが、今回は極座標 (球面座標) 系での移動となるため、視点および注視点の移動を以下のように定義した (Table. 5, Fig. 11)。

Table. 5 操作方法

	操作方向	位置移動	注視点移動 (注視点は、標高 0m で固定)
ドラッグ操作	上下	地表面と平行に前進・後退	視点と一緒に移動
	左右	注視点を軸に回転 (タンブル)	なし
マウスホイール	前後	重力方向に上下移動	なし
Shift キー + ドラッグ	上下		
	左右	なし	回転 (パン)

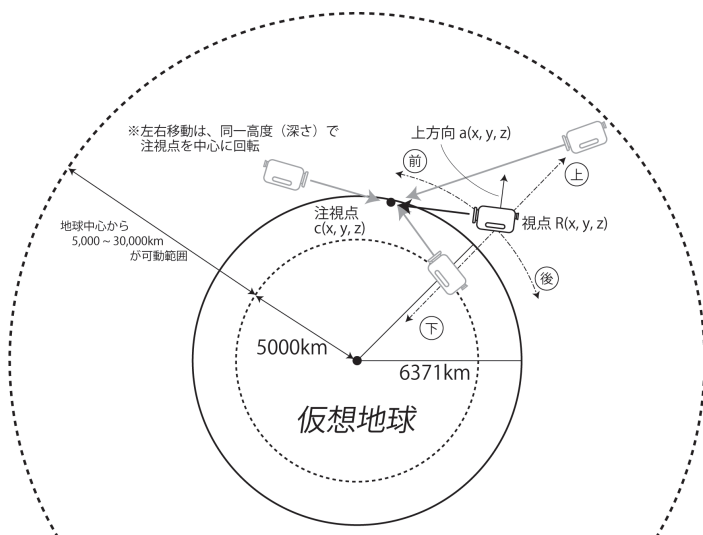


Fig. 11 カメラ (視点) の移動と操作

できるだけ直感的で簡便な操作性を実現するため、マウス操作と Shift キーのみで操作ができるようインターフェースを設計にした。

視点座標を \mathbf{R} 、注視点座標を \mathbf{c} とすると、視線方向ベクトル \mathbf{Rc} は、

$$\mathbf{Rc} = \mathbf{c} - \mathbf{R} \quad \dots (3-2)$$

で表される (Fig. 11)。

この時、視線方向ベクトルと視点座標ベクトルの法線 \mathbf{n} は、

$$\mathbf{n} = \mathbf{Rc} \times \mathbf{R} \quad \dots (3-3)$$

で表される。

よって、視線の上方向ベクトル \mathbf{a} は、

$$\mathbf{a} = \mathbf{Rc} \times \mathbf{n} \quad \dots (3-4)$$

である。

Table. 5 の上下操作は、 \mathbf{R} と平行な視点の移動のみで、注視点は変化しない。前後操作は、 $|\mathbf{R}|$ を変化させず、 \mathbf{n} の周りの回転となり、視点および注視点の双方を変化させる。左右操作は、注視点 \mathbf{c} を中心とした視点の回転操作（タンブル）で、 $|\mathbf{R}|$ は変化させない。視点を固定した注視点の左右回転（パン）は、Shift キーを押しながら、左右操作を行う。

4. 活用例

本アプリケーションは、講義の前後や演習課題に取り組む際に、学習者が自分自身で震源の位置や深さ、その並び方などを、視点を変えながら確認し、理解を深めることを目的としている。震源の分布などに特徴のある地域を例として挙げ、そのプレートテクトニクスの解釈と、教材としての活用方法をまとめる (Fig. 12)。

4.1 日本列島

ユーラシア大陸東縁の日本列島は、ユーラシアプレート、北米プレート、太平洋プレート、フィリピン海プレート、の4つのプレートが複雑に接する、プレート収束境界に位置する。太平洋プレートは、北米プレートおよびフィリピン海プレートに対して沈み込み、東北日本弧および伊豆—マリアナ弧をそれぞれ形成している。この2つの島弧の折れ曲がりに沿って、太平洋プレートは屈曲した形状で西側に沈み込み、関東地域はこの屈曲部にあたるため、プレート境界の識別にはいくつかの説が唱えられている（伊藤・千葉, 1983）。Fig. 13 では、こうした複雑なプレートの沈み込みの様子が見て取れる。

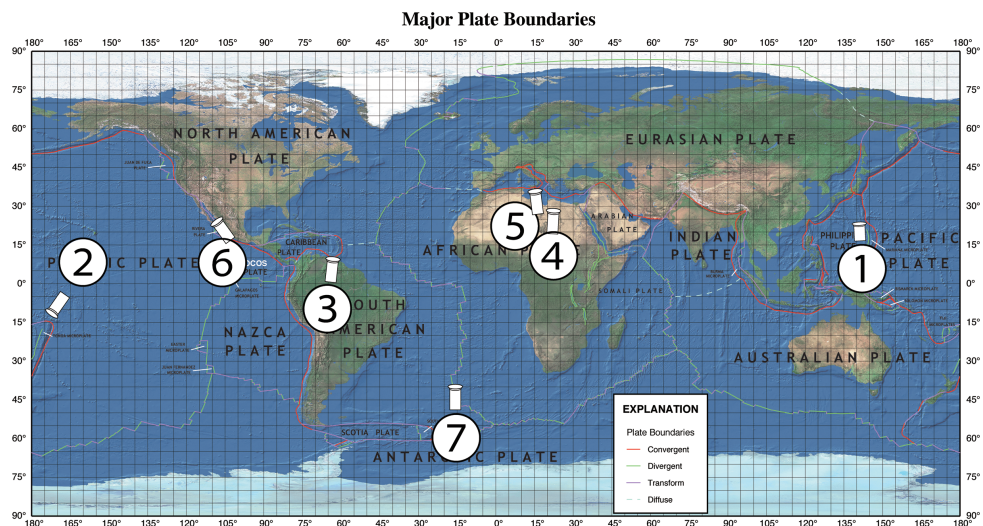


Fig. 12 世界の主要なテクトニックプレート境界と視点位置 (USGS major plate boundaries online: majplatecolor.pdf)

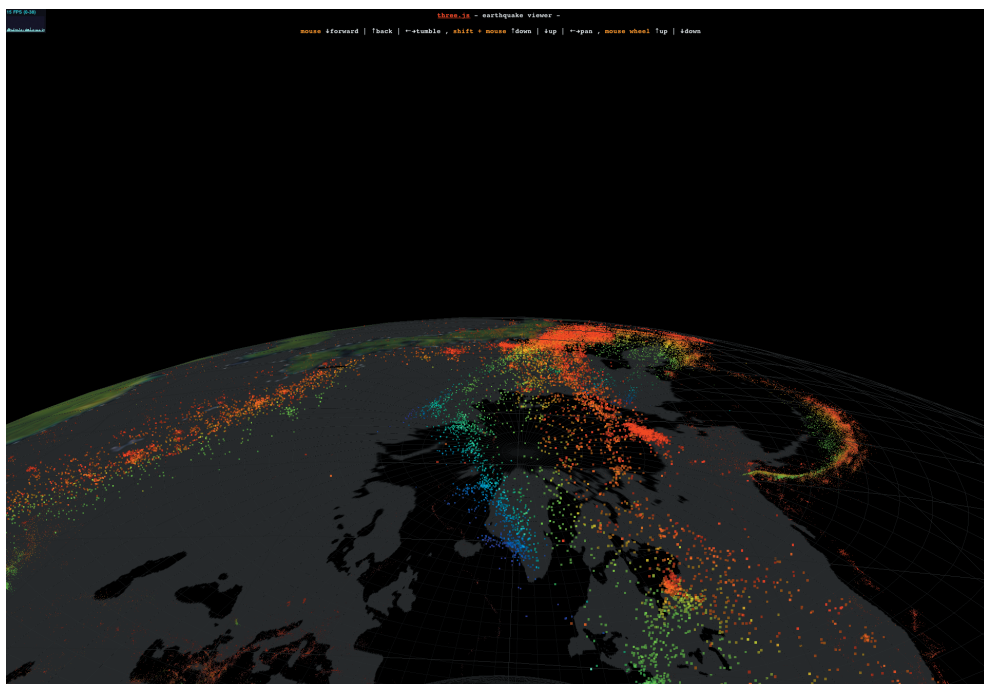


Fig. 13 日本周辺 (Fig.12 の視点①)

4.2 ニュージーランド

2011年2月11日、ニュージーランドで発生したマグニチュード (Mw) 6.1 の地震 (クライストチャーチ地震) は、震源の深さが約 5km と浅く、内陸性の活断層型地震であった (震源情報は USGS Earthquake Hazards Program online: index.php より引用。以下も同様)。この地震では、倒壊したビルにいた日本人留学生 28 名を含む多数の死傷者がでた。

東太平洋海膨南部および太平洋―南極海嶺で形成された太平洋プレートは、年間 3~8cm 程度の速度で北西方向に移動し、トンガ海溝およびケルマンデック海溝に沿って、オーストラリアプレートに対して沈み込んでいる。これらの海溝は最深部で水深約 10,000m を超えている。オーストラリアプレートと太平洋プレートの沈み込み境界であるトンガ海溝は、北部で北西―南東方向に湾曲して、トランスフォーム断層に変化している。この近辺では深度が 500km 超の深発地震が多発している (Fig. 14)。トンガ海溝に沿って南西方向に、深発地震の数は減少し、クライストチャーチ地震の震源付近のニュージーランド南島付近では、35km より浅い震源の地震しか起きていない。また、これより南側では、沈み込みの方向が逆転し、西側のオーストラリアプレートが東側の太平洋プレートに対して、東向きに沈み込んでいると考えられているが、このプレート境界面に沿った東向きに深くなる震源が確認できる (Fig. 14)。HypoViewer を用いる事で、こうした複雑なプレート境界の関係を、学習者が自分で確認をしながら理解を深める事ができ

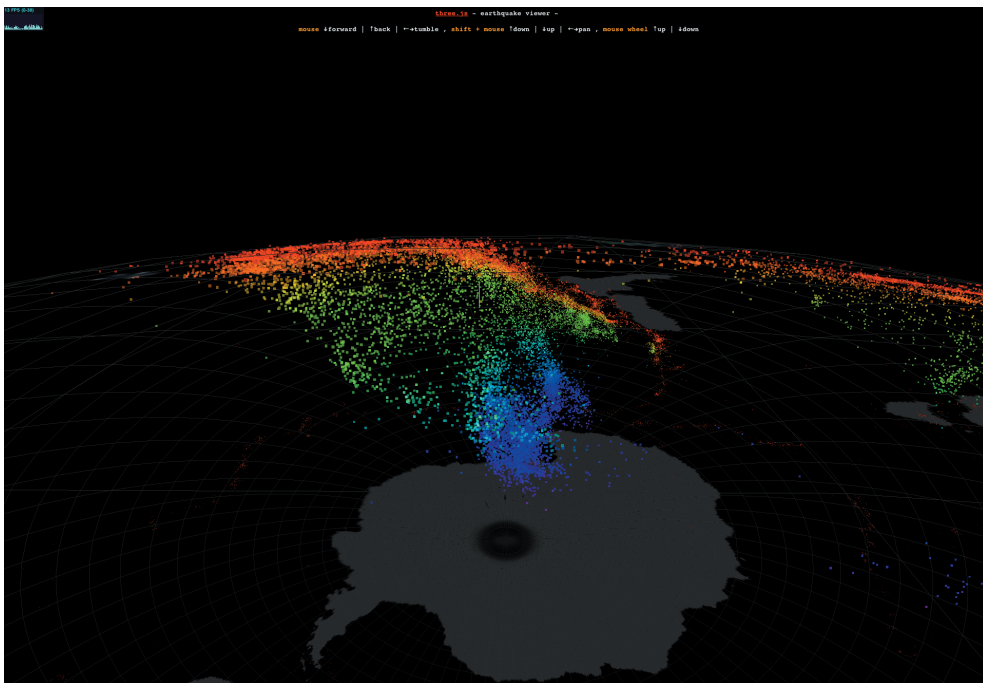


Fig. 14 ニュージーランド (Fig.12 の視点②)

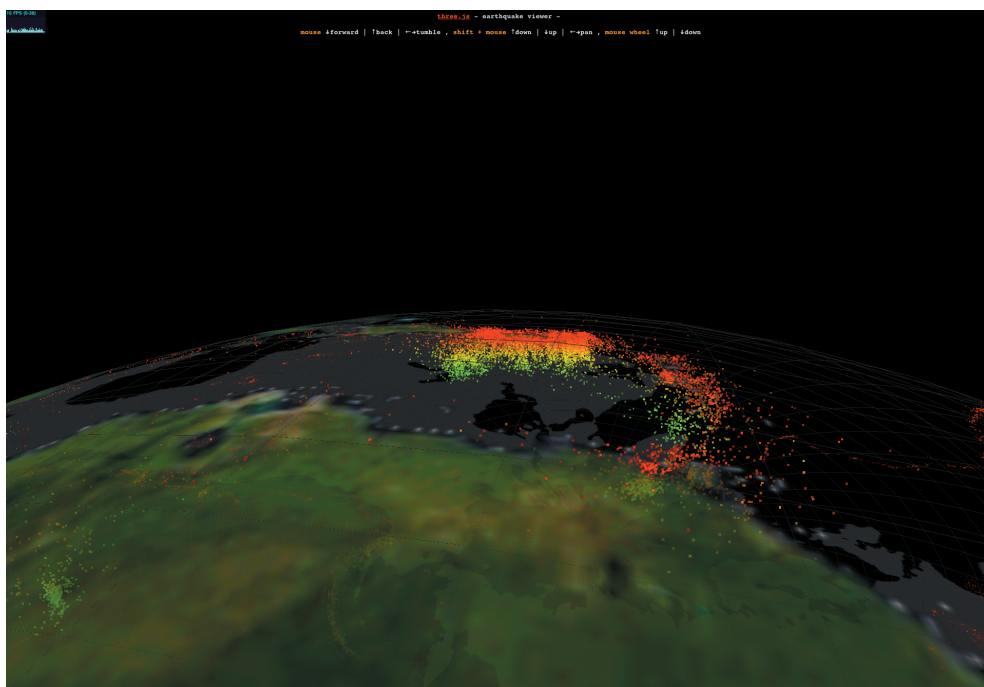


Fig. 15 ドミニカ (Fig.12 の視点③)

る。これと同様のテクトニクス場としては、北米および南米プレートの大西洋海洋プレート部分が、カリブプレートに対して西側に沈み込むドミニカ共和国周辺の西大西洋地域にも見られる (Fig. 15)。

4.3 トルコ

トルコは、マイクロプレートとして識別されるアナトリアプレート上に位置し、北側は北アナトリア断層を境としてユーラシアプレートと接する、地震活動の活発な国である (Fig. 16)。1999年8月17日に発生したトルコ北西部地震 (イズミット地震) は、北アナトリア断層西部を震源とするマグニチュード7.6、震源の深さ17kmの地震であった。東西約900kmに渡って発達する北アナトリア断層は、右横ずれのトランスフォーム断層で、歴史上マグニチュード7を超す大地震を何度も引き起こしている。この右横ずれ運動は、アラビアプレートのユーラシア大陸に対する北方向への運動によって、アナトリアプレートが西側に絞り出されるよう移動しているためと考えられる (Reilinger et al., 1997)。アナトリアプレートは、南西側に位置するエーゲ海プレートとともに、南側からアフリカプレートの沈み込みを受けており、この境界に沿って地震が発生していることが見て取れる (Fig. 17)

4.4 イタリア

イタリアは、ヨーロッパにおいてはトルコやギリシアと共に地震の多い国である。2009

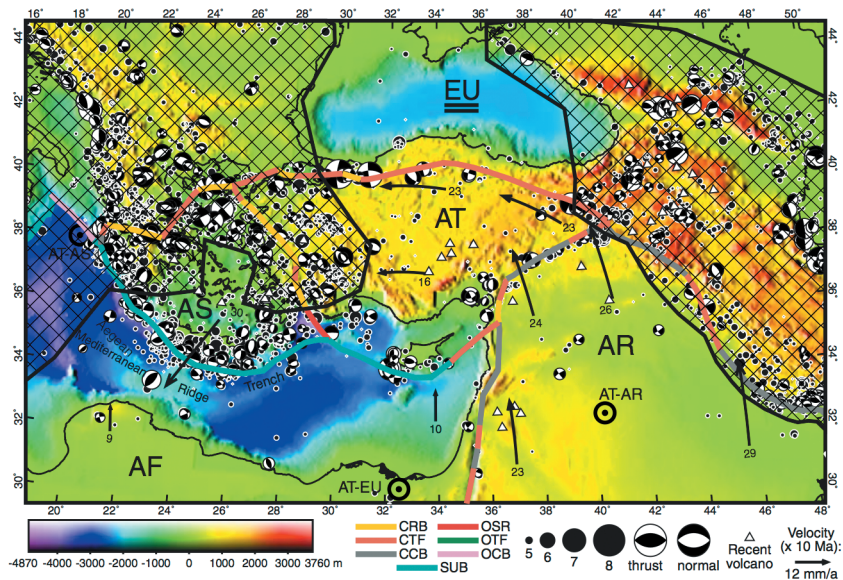


Fig. 16 アナトリア (AT) プレート (Bird, 2003)

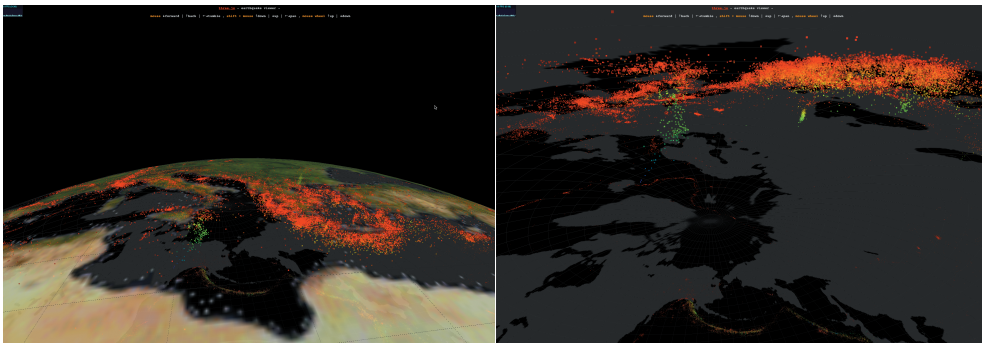


Fig. 17 トルコ (Fig.12の視点④)

年4月に発生したラクイラ地震（マグニチュード6.3、震源の深さ8.8km）の際には、300名以上の犠牲者がでたが、発生6日前に出された“安全宣言”によって被害が拡大したとして、裁判において地球科学者を含む7人の関係者が過失致死罪で禁固6年の実刑判決を受けるという事態が発生した（朝日新聞2012年10月23日夕刊）。

イタリア南部、シチリア島の北に並ぶエオリエ諸島には、現在も活発に活動が続いているストロンボリ火山や、ブルカーノ火山などがあり、これらの火山は、アフリカプレートがユーラシアプレートに対して北西方向に沈み込む島弧性の火山と考えられている（Gasparini et al., 1982）。Fig. 18では、この沈み込みに伴う震源がはっきりと確認できる。

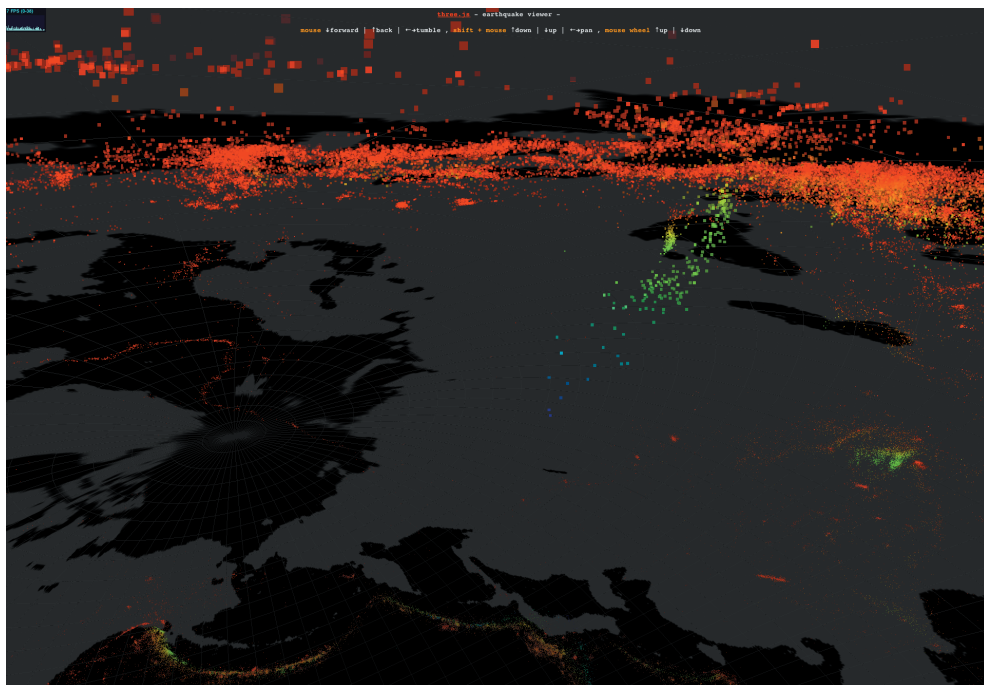


Fig. 18 イタリア (Fig.12 の視点⑤)

4.5 サンアンドレアス断層

トランスフォーム断層沿いの地震としては、北米大陸西岸を南北に走るサンアンドレアス断層が典型例として挙げられる。1906年4月18日、アメリカ・カリフォルニア州サンフランシスコを襲ったサンフランシスコ地震は、M7.8、アメリカで最も被害が大きかった地震である。これは、サンアンドレアス断層北端の約477kmが動いたとされている (Ellsworth, 1990)。トランスフォーム断層沿いでは、断層に沿っての横ずれ成分が卓越しているため、プレートの沈み込みは起きておらず、深発地震は見られない (Fig. 19)。

4.6 大西洋中央海嶺

プレート発散境界の1つである中央海嶺直下の地震活動は、マグニチュードの小さい (M < 6)、浅発性 (震源の深さ < 10km) のものに限られ、海嶺軸に直交する張力軸をもつ正断層型のものが多い (上田, 1989)。大西洋中央部に発達する大西洋中央海嶺は、東側のアフリカおよびユーラシアプレートと、西側の南米および北米プレートの境界をなし、南北方向に2万km近く連続している。Fig. 20は、大西洋中央海嶺と南西インド洋海嶺の会合部付近から北方向を向いた中央海嶺に沿って分布する震源である。

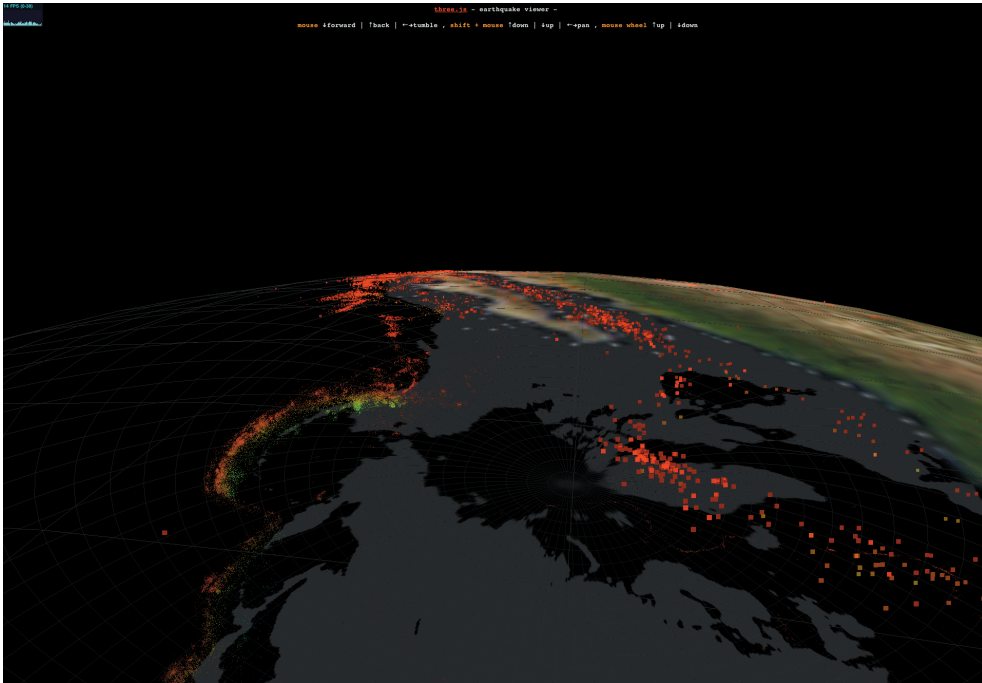


Fig. 19 サンアンドレアス断層沿いの震源 (Fig.12 の視点⑥)

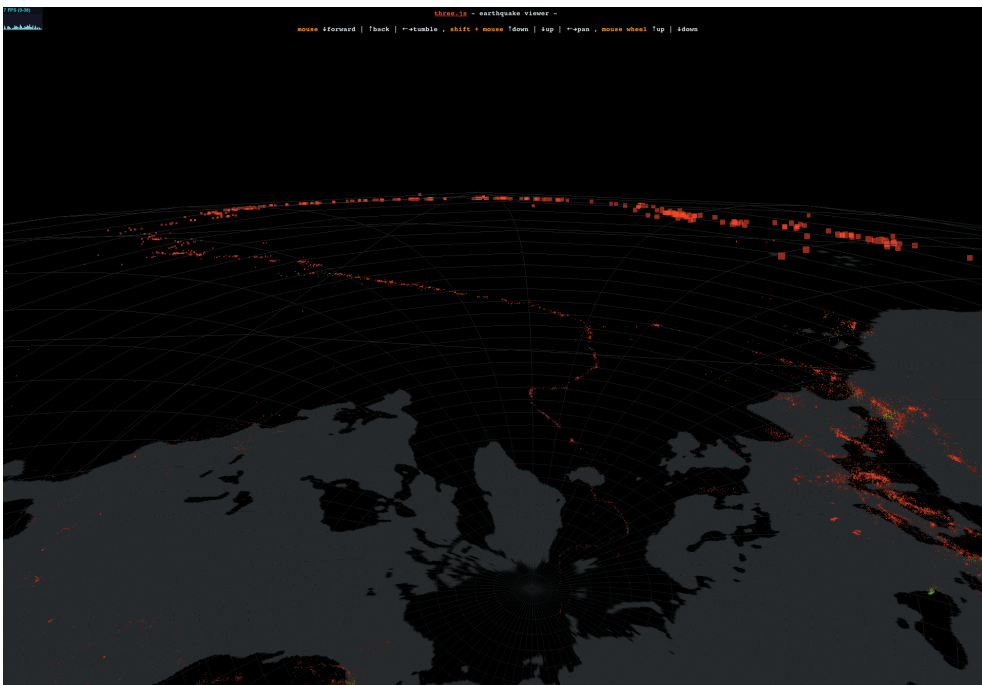


Fig. 20 大西洋中央海嶺 (Fig.12 の視点⑦)

5. 応用

本アプリケーションは、現在は WebGL が動作する端末上でしか利用できないため、近年著しく普及しているタブレット端末では利用できない場合が多い。three.js ライブラリには、canvas レンダリングというモードがあり、これを使うことで、WebGL が動かない端末でも同様の表示をさせることは可能であるが、画面上に表示する震源情報が多くなると、レンダリング実行速度が著しく低下し、実用的ではない。一部の Android 端末では WebGL が動作するものが増えてきており、Apple 社の iOS 端末（iPhone や iPad）でも、ブラウザでは WebGL は利用できないが、iAd などの内部機能では WebGL が使われているので、将来的には iOS ブラウザ上で WebGL が動作することも予想される。今後は、こうしたタブレット端末に最適化したユーザインターフェースを実装して、学習者がより分かりやすい操作で、震源情報やプレートテクトニクスの理解ができるよう、改良を加えていく予定である。

また、今後の追加・改良点としては次のような機能の実装を考えている。

今後の追加・改良点

- ・スマートフォンやタブレット端末への対応
- ・マグニチュードの範囲を指定した表示
- ・リアルタイムに発生した震源情報を表示（FDSN Web Service Specifications online: [FDSN-WS-Specifications-1.0.pdf](http://www.fdsn.org/WS-Specifications/1.0/)）
- ・授業用に視点を記録したアニメーション機能
- ・Facebook, Twitter, Google+ などの SNS で画像を共有

6. まとめ

2011 年の東日本大震災は日本人だけに限らず、全世界に衝撃を与えた。大地震やそれを起因とした津波は大きな人的被害をもたらし、社会に大きな傷跡を残す。一方で、地震という現象とその特性を利用することで、人類が未だ到達することができない地球深部の構造を理解することもできる。プレートテクトニクス仮説は、1960 年代に当時の地質学者・地球物理学者などの精力的な調査と研究によってその理論体系が構築され、地球科学分野の 1 つのパラダイムでもあった。世界中で起きている地震の発生機構はプレートテクトニクス理論に基づくプレートの相対運動と物理的性質でよく説明できる。本研究で開発した HypoViewer は、学習者自らがこうした地震の特徴を視覚的に理解し、プレートテクトニクス理論をより深く理解するために設計された。大学に限らず、初等・中等教育現場で積極的に活用されることを望んでいる。

本アプリケーションは、以下の URL で公開されている（<http://www.igeoscience.com/hypoviewer/>）。

引用文献

- Bird, P. (2003) An updated digital model of plate boundaries. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 4: 1027.
- Ellsworth, W.L. (1990) Earthquake history, 1769-1989, chap. 6 of Wallace, R.E., ed., *The San Andreas Fault System, California*: U.S. Geological Survey Professional Paper 1515 : 152-187.
- Gasparini et al. (1982) Seismotectonics of the Calabrian Arc. *Tectonophysics* 84 : 267-286.
- Reilinger, R. E. et al. (1997) Global Positioning System measurements of present-day crustal movements in the Arabia-Africa-Eurasia plate collision zone, *J. Geophys. Res.*, 102 (B5) : 9983-9999.
- Lay, T. et al. (2011) Outer trench-slope faulting and the 2011 M_w 9.0 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. *Earth Planets Space*, Vol. 63, No. 7 : 713-718.
- 朝日新聞 2012 年 10 月 23 日夕刊, 実刑 6 年ざわめく法廷
- 伊藤谷生・千葉達朗 (1983) 関東地方周辺のプレートシステム. *アーバンクボタ*, 21 : 52-55.
- 上田誠也 (1989) 『プレートテクトニクス』, 岩波出版 : 1-268.
- 澤口隆 (2013) 地球科学教育におけるインタラクティブ教材の開発その 2 (エルニーニョ). *東洋大学紀要自然科学編*, 57 : 11-25.
- 松村稔ほか (2006) 高精度即時震源パラメータ解析システム (AQUA) の開発, *地震* 59 : 167-184.

オンライン文献 (全て、2013 年 11 月 25 日アクセス)

- FDSN Web Service Specification, <http://www.fdsn.org/webservices/FDSN-WS-Specifications-1.0.pdf>
- IRIS Seismic Monitor, <http://www.iris.edu/seismon/bigmap/index.phtml>
- Three.js, <http://threejs.org/index.html>
- USGS Earthquake Archive Search & URL Builder, <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
- USGS Earthquake Hazards Program, <http://earthquake.usgs.gov/index.php>
- USGS Latest Earthquakes, <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/index.html>
- USGS major plate boundaries, http://earthquake.usgs.gov/learn/topics/plate_tectonics/majplatecolor.pdf
- USGS Poster of the Great Tohoku Earthquake (northeast Honshu, Japan) of March 11, 2011 — Magnitude 9.0, <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/poster/2011/20110311.php>
- USGS Turkish Earthquake, http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/year/1999/1999_08_17_ts.php

気象庁津波情報 (2013 年 10 月 26 日), [http://www.jma.go.jp/jp/tsunami/ observation_03_20131026041115.html](http://www.jma.go.jp/jp/tsunami/observation_03_20131026041115.html)

気象庁一元化处理震源データ, <http://www.hinet.bosai.go.jp/REGS/JMA/index.php> (閲覧・ダウンロードにはユーザ登録が必要)

Hi-net 高感度地震観測網, <http://www.hinet.bosai.go.jp/index.php>

VRML による三次元震源分布表示, <http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/VRML/index.php>